2016年熊本地震における熊本城 石垣の被害調査

大角 恒雄1

¹フェロー会員 (研)防災科学技術研究所 主幹研究員 (〒305-0006 つくば市天王台3-1) E-mail: t_ohsumi@bosai.go.jp

2016年4月14日21時26分頃と16日1時25分頃に熊本県地方でM6.5(気象庁)とM7.3(気象庁)の地震が 発生し、前震と本震とされた.熊本城に地震の前震と本震の被害は、重要文化財建物で23棟、復元建造物 27棟、石垣の崩落・孕み・緩み523ヶ所が報告されている.本震の石垣の被害は全体の30%にも及び、そ の被害は余震でも進行している.石垣は、加藤家時代と細川家時代と工法が異なり、被害形態の比較を実 施した.また、天守・櫓でRC造外観復元構造物と現存木造構造物が存在し、被害形態の比較・考察した.

Key Words : The 2016 Kumamoto Earthquake, Kumamoto Castle, stone masonry

1. 緒言

2016年4月14日21時26分頃,熊本県地方でM6.5 (気象 庁)¹の地殻内で発生した横ずれ断層型の地震が発生し た.また,2016年4月16日1時25分頃,熊本県地方でM7.3 (気象庁)²の地震が発生し,14日の地震は,前震,16 日の地震を本震とした.震源は大局的には布田川断層 帯・日奈久断層帯に沿った分布を示している.布田川断 層帯・日奈久断層帯に沿った活動が継続し,前震よりも 北西側においても地震が発生した.図-1に震源域周辺お よびその周辺における震源分布³を示す.

文科省所管の防災科学研究所としては、関係部局への 熊本城に関する文化財災害復旧に関する情報提供と、石 垣構築の過程と崩壊との関係の研究を目的として、一般 見学ルートに限定して調査を実施した.



図-1 震源域周辺およびその周辺における震源分布3

2. 前震及び本震

今回の地震の特徴としては、2016年4月14日21時26分 頃にM6.5の地震が発生し、4月16日1時25分頃にM7.3の地 震が発生し、4月14日21時26分以降に発生した熊本県を 中心とする一連の地震活動を「平成28年(2016年)熊本 地震」と命名し、前者を前震、後者を本震とした.この ような前震が生じて、本震が発生する地震の前例として は、2003年7月26日に宮城県北部を震源として、26日0時 13分頃 M5.6(前震)、7時13分頃 M 6.4(本震)、午後4 時56分頃6弱 M5.5(最大余震)が連続的に発生し、この 地震では震度6弱以上の地震が1日に3回発生した.

前震M6.5の地震と本震M7.3の被害の差異は明白で, 熊本市上下水道部へのヒアリングによると、水源の全て に地下水を使用している熊本市では、市内にある96本の 井戸の14日の前震では60%の障害であったが、本震直前 では供給のほとんど回復していた.一方,16日の本震 では100%の供給の障害となった. 熊本城調査研究セン ターの速報(熊本市役所内掲示:2016年6月10日時点) での地震の前震と本震の被害は、前震(M 6.5, 2016年4 月14日)では、重要文化財建物で10棟、復元建造物7棟、 石垣の崩落箇所6ヶ所であるが、本震(M 7.3, 2016年4月 16日)では、重要文化財建物で13棟、復元建造物20棟、 石垣の崩落・孕み・緩み517ヶ所(崩落50ヶ所, 229面, 約23,600 m²), 地盤の陥没・地割れ70ヶ所(約12,345 m²) が報告されている.本震の石垣の被害は全体の 30%にも及び、崩落は約8,200 m²で全体の10%で、その 被害は余震でも進行している.

3. 熊本城の変遷

熊本城は加藤清正の築城としては、1601年から7年を 費やして1608年に完成したとされている.当時は、城域 は周囲約5.3 km,総面積は980,000 m²で、櫓49、櫓門18、 城門29の規模であったとされている(城内掲示板).

(1) 石垣の構造

熊本城は熊本城の石垣は主に祇園山(現在の花岡山: 熊本市西区にあり標高1,32.2メートルの山)で堀川を用 いて船で運んだとされている.石材は安山岩と花崗岩が 主体である.基盤は約9万年前の阿蘇の火山灰を起源と する堆積層で,溶結凝灰岩成分は少なく,軽石含んだ堆 積層が40 m程分布している.岩盤としての強度は乏しく, 保水性に乏しい⁴⁾.阿蘇火山灰層の軟弱な地盤上の石垣 で,石垣を構築することは極めて困難であった.一般に 地盤が軟弱であると萩城(写真-1)のように弓状に描く 勾配で,上方からの荷重圧力が石積みの下方に分散する 構造となる.二様の石垣(写真-3)には,加藤家時代の 緩勾配の石垣と細川家時代の急勾配の石垣が重なる.

前者は穴太(あのう)積みと呼ばれ,安土城(写真-2:1576年着エー1582年焼失)築城で実績を積んだ近江 国の石工集団の穴太衆が駆使した技法で,隅石(角の部 分の石)に同じ大きさの石を積み上げ,清正が近江から 連れて帰って重用したことから,清正流と呼ばれている. 後者の算木(さんぎ)積みは,加藤家後期と細川家初期 に採用され,長方形の石の長辺と短辺を交互に積み上げ る工法で,これによって,最下部急勾配を持つ急勾配の 石垣が構築される⁹.算木積みの例を**写真-4**に示す.

図-2に石垣の構造を示す.石垣の背面には透水性の優れた栗石を裏込めとして配している.今回の地震で,宇

土櫓の石垣(写真-5)が健全性を保っている.1000回を 超える余震もあり,一部孕みが進行しているが,穴太積 みの技術の高さが伺える.一方,算木積みは,飯田丸五 階櫓(写真-6),戌亥櫓(写真-7)に代表されるように 隅石の算木積み部分を残し,石垣の中間は崩壊を生じて いる.前述にように,地盤の弱さを前提とした加藤家時 代の緩勾配の形状が適していたか,細川家時代の算木積 みを基本とした急勾配が適していたかは,今後の有識者 による議論に譲りたい.議論によっては,再建の天守・ 櫓に関しては,United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)が積極的に用いない現代技術 による修復も必要となるかもしれない.

(2) 石垣の変遷

富田紘一(2008) 4は著書の中で、熊本城の石垣の変 遷を I 期からVI期の分類を行っている(図-3). I 期は 1599年とし、石垣の傾斜が緩勾配である、二様の石垣が 典型である. Ⅱ期は1600年とし、Ⅰ期よりも石垣は急勾 配となる.Ⅲ期は1601年前半とし、算木工法が混在して いる. Ⅳ期は、Ⅲ期とⅤ期の間であり、宇土櫓、続櫓、 東十八間櫓, 北十八間櫓, 不開門, 平櫓, 田子櫓, 西出 丸西面石垣が代表である. V期は1607年以降で、飯田丸 五階櫓下段の石垣,長塀,小天主台が代表である. VI期 は1633年細川家時代で、櫨方三階櫓台では、1820年に石 垣が孕み出したので、上の櫓を解体し、孕んだ石垣を築 き直し、櫓を立て直したことを示している.図4に櫨方 三階櫓台石垣の変遷を示す.かつて,櫨方三階櫓は北側 と東側を石垣に囲まれており、北面と東面を鍵形に覆う ように直角に築かれており、当該石垣は熊本城内有数の 高台であり、隅石が連なる(出遇)の稜線も美しいとさ れている.この石垣は地震後も健全であった(写真-7).



写真-1 緩勾配の萩城石垣



図-2 石垣の構造:6)を参考

写真-2 安土城の穴太工法

写真-4 算木積み例(名古屋城)



写真-3 熊本城二様の石垣 加藤家時代(緩勾配 : 奥) 細川家時代(急勾配 : 手前)



現存の宇土櫓(2016年8月11日撮影)



写真-6 飯田丸櫓台石垣の算木積み 【国土地理院】熊本城天守閣の被災状況 (2016 年 5 月 12 日撮影)



写真-7 成亥櫓台石垣の算木積 み(2016年8月11日撮影)



図-3 熊本城石垣の変遷 富田紘一(2008)⁴の著書を生田繁利氏が編集

 第1段階
 第2段階

 初期櫨方東北出隅
 3階櫓台を追加

三階櫓



第3段階 北面に覆いの石垣を 2回にわたり構築 3階櫓台の積み直し (ハッチング部)

図-4 櫨方三階櫓台石垣の変遷



写真-8 櫨方三階櫓台(2016年8月11日撮影).

写真-9,10は1960年に復元されたRC造外観復元の大天 守・小天守の二の丸公園からの光景である. 写真-9は右 から大天守,宇土櫓,小天守と石垣が崩壊がみられる. 写真-10は天守・櫓のクローズアップであるが現存の宇 土櫓のみ瓦の崩落が生じていない.

(1) 大天守と小天守

大天守は高さ32 m, 3層6階,地下1階石垣の高さは16 mである.小天守は高さ19 m, 2層4階,地下1階で石垣 の高さは大天守と同じレベルである.大天守・小天守は,納戸・入側縁部で繁がれる連結式天守で,大天守台は緩 やかな曲線であるのに対し,小天守は,算木積みであり, 小天守が付設された構造である⁸. 藩主加藤広忠(在位 1611年-1632年)が構築したと言われている.

写真-11,12は国土地理院のUnmanned Aerial Vehicle (UAV) による大天守・小天守の地震による瓦の崩落である. 写真-13には、地震前の写真を示した.加藤神社からの 写真-14には、小天守台石垣が地震後、沈下し天守と剥 離を生じている.また、天守台石垣の一部が崩壊してい る.写真-15には国土地理院のUAVによる北側からの写 真には、小天守の地震による天守台の沈下による剥離が 示されている.

大天守には、2層の12ヶ所の破風を有し、最下層東面 と最上階南北両面と小天守には4ヶ所の破風を有し、最 下層東面に曲線で構成されや唐破風が優美な雰囲気を醸 し出している⁷⁾. 地震後、この波風の瓦が部分的に崩壊 しているが層の屋根をしっかりと固定しているようにも 見受けられる(**写真-11**). 小天守は、屋根がそのまま 平側に連続する入母屋波風上である(**写真-12**).

写真-16の加藤神社から撮影した宇土櫓台石垣(左) に地震後の石垣の中央部分が丸みを帯びて張り出す「孕 み出し」が随所にみられる.また、小天守台北側の石垣 (右)には、孕み出し部分が影として現れている.原因 としては今回の地震だけでなく、経年劣化も考えられる

だしては今回の地震にりでなく、経中3/165スられ、 が、余震により、孕み出しの進行がみられる.

(2) 宇土櫓

宇土櫓は1601年から1607年築の現存の重要文化財であ る. 北側から西側へと続く空堀に高さ20.5 mの石垣と3層 5階地下1階の構造である. 最上階には回廊を有している. 西側の25 mの長さの続櫓が倒壊している. 宇土櫓は開口 部に鉄骨ブレースを設置することで,耐力とねばり強さ を向上する耐震補強がなされているが,続櫓は耐震補強 がなされていなかったため,続櫓のみ倒壊している

(写真-17,18).

瓦を固定せず地震が来た際には屋根の瓦を落とすこと

によって建物を軽くし、建物自体が倒壊しないようにす るのが先人の知恵であるとされているが、RCの大天 守・小天守が瓦・鯱に本震と1,000回を超える余震(M35 以上)で、損傷を受け続いているにもかかわらず、宇土 櫓は、瓦・鯱が損傷を受けていない.

宇土櫓には、2層の千鳥破風を有し、直線で構成され 破風が優美な雰囲気を醸し出している。千鳥破風は、隅 棟から離れており、平側とは連続していないのが特徴で ある⁹.

大天守・小天守の瓦・鯱に損傷を受けているにもかか わらず宇土櫓は、外観上は損傷は少ない. 違いを以下に まとめる.

1) 屋根部分の方位

地震時の斜面崩壊等で、方位を述べる研究者もかつて は多かったが、地震動の水平方向の挙動はオービットを 描くものであり、方向性が卓越することは少ない. 1,000回を上回る余震で徐々に瓦が崩壊していったこと を考えると方位の影響は少ない.

2)RC構造と木造構造の差異

大天守・小天守はRC造外観復元構造物に対し,宇土櫓 は現存の木造櫓である.この差異は大きいと考える.剛 構造のRCに比べ,木造は柔構造であり,RCは高振動数 の頂部への伝搬が瓦・鯱へ伝搬したものと思われる.

また,基礎の根太(ねだ)で,構造部と石垣の間には 巨大な梁が土台からせり出すように配置され,巨大構造 物の荷重を分散させる構造となっている⁹が, RCでは, この機能が発揮されるかは議論の余地がある.

さらに、天守は社寺建築に用いられている継手・仕口 (つぎて・しぐち)といった釘を使わない接合を用いて いる場合が多く⁹、地震時の変形を吸収することが言わ れている.この工法は日本だけでなく、2015年ゴルカ・ ネパール地震においても、伝統的建物の継手・仕口の耐 震性が証明されている¹⁰.

5. 櫓群と櫓台・門扉石垣

(1) 戊亥櫓

成亥櫓は2003年の再建された木造建築で、2層3階建て 櫓である.敷地内の北端にある櫓で「亥」とは、北から 西へ30度の方角.北北西の方向を守る「戌」に位置する. 戌亥櫓は、櫓台石垣の北側の面が崩壊した(**写真-19**).

前述の算木積で石垣の隅石部は、石の長編を交互に組 み合わせることで、編みあわせの剛性を持ちつつ、微小 変形を開放している。今回の地震でも全ての石垣で隅石 部は形状を保っている。

一方,隅石部に挟まれた中間部分の石垣は,地すべり のような崩壊を生じている. 成亥櫓は再建の櫓で,崩壊 した櫓の基礎部は急勾配の構造物がみられる.この不透 水層を形成する構造が、中間部分の石垣の崩壊を誘引し たことが考えられる(**写真-20**).

場内はほとんどが空堀であるが、二の丸公園側の空堀 は、降雨により堀に水が溜まっている.これは、粘土質 の土砂を空堀に投棄したためで、本来の姿ではない

(写真-21) .

成亥櫓二の丸公園側には、随所に液状化発生と思われ る噴砂が見られる.3ヶ月以上経過し、6月には150 mm/h 程度の豪雨が続いたが、噴砂は残っている(**写真-22**).



写真-13 地震前の大天守から小天守への展望 (1989 年撮影).



写真-9 二の丸公園から大天守,宇土櫓,小天守(右から) と石垣が崩壊(二の丸から2016年8月11日撮影)



写真-10 大天守, 宇土櫓, 小天守のクローズアップ. 現存の宇土櫓(中央)のみ瓦の崩落が生じていない(二の 丸から2016 年 8 月 11 日撮影).



写真-11 地震による瓦の崩落(大天守側から). 【国土地理院】熊本城天守閣の被災状況 (2016 年 5 月 12 日撮影).



写真-12 地震による瓦の崩落(小天守側から). 【国土地理院】熊本城天守閣の被災状況 (2016 年 5 月 12 日撮影).



'与具-14 石垣の沈下(左矢印)と部分崩壊(石矢印) (加藤神社から2016年8月11日撮影).



写真-15 小天守の地震による天守台の沈下による剥離. 【国土地理院】熊本城天守閣の被災状況(2016年5月12日撮影).



写真-16 宇土櫓台石垣(左)と小天守台北側の石垣(右)に地震後の石垣の孕 み出し(矢印)(加藤神社から2016年8月11日撮影)



写真-17 宇土櫓と結合された続櫓は耐震補強されていな かったため, 続櫓のみ倒壊した(加藤神社から 2016 年 8 月 11 日撮影).



写真-18 地震前の宇土櫓と続櫓(1989年撮影).



写真-19 成亥櫓台石垣の隅石部を残し中央部分の崩壊 (2016年7月20日撮影).



写真-20 2003 年の再建された木造 2 層 3 階建て成亥櫓 (2016 年 7 月 20 日撮影).



写真-21 成亥櫓の二の丸公園側の空堀 (2016年7月20日

(2) 加藤神社(北門石垣)

加藤神社は加藤清正を主祭神とし、大天守、小天守、 宇土櫓に囲まれた平左衛門丸に位置する。神社内の築 400年を超える高さ約3 mの石垣は、地震により北門に隣 接する一部が倒壊した(写真-23)。隅石部の石垣は崩 壊していないが、中間部が崩壊している。石垣の背後は 栗石が配置されており、排水効果を期待する構造となっ ている。栗石は丸みを帯びており、河原石が用いられて いる。石垣に用いられている石は矩形で、飼石(石在同 士の後部隙間を固定に用いる小石)を用いない構造と思 われる(写真-24)。石垣の倒壊によって、北大手櫓門



写真-23 加藤神社内石垣 (2016年8月11日撮影)



写真-22 成亥櫓の二の丸公園側の液状化痕跡 (2016年7月20日撮影).

跡の石垣が崩壊し、境内に石が散乱した。その中に石の 側面(石垣の表には現れない石垣同士が接してる面)に 約40 cmの観音菩薩か発見された.

400年前の築城の祈願に仏像を彫って供養した石碑と 言われ、蓮華座に立ち、左手には蓮のつぼみのようなも のを持った像には、意図的に矢穴を入れで岩盤に亀裂を 入れた可能性がうかがえる.古墳の石材や墓石(五輪 塔・宝篋印塔等)の転用石として用いられたこともある ⁷.また場内には、飯田丸から本丸に登る位置にかつて3 階建の地蔵櫓門が存在し、礎石から阿弥陀入来像が彫ら れた板碑が発見されている^{5,8}.



写真-24 加藤神社内石垣から発見された観音菩薩像と 矢穴跡(矢印)(2016年8月11日撮影)

(3) 平櫓と不開門

不開門への坂道を登る右手の平櫓は、地震による外観の損傷はない。坂の上にはブルーシートに覆われた不開門が存在する(写真-25,26,27).

(4) 五間櫓と北十八間櫓

熊本城東側の加藤神社と熊本大神宮の間に存在する現存櫓の北十八間櫓の倒壊(写真-28)は、五間櫓を引き裂く形で倒壊した.北十八間櫓台石垣の背後地盤上部に大きなV字のガリー浸食が有り、崩壊に影響を及ぼした

と思われる(写真-29).

(5) 熊本大神宮と北十八間櫓

熊本大神宮は、上部の現存櫓である東十八間櫓が倒壊 し、石垣の崩壊で土砂を巻き込み神社社屋を倒壊させた. 本震により東十八間櫓台石垣の崩壊によって、櫓の基 礎脚部に位置する熊本大神宮内の建物上に落下して、屋 根を突き破った.前震では、瓦の一部が落下したが、石 垣に目立った被害はなかったと報告されている(写真-3031).



写真-25 不開門への坂道を登る右手の平櫓. 地震による外観の損傷はない(2016 年 8 月 11 日撮影).



写真-26 坂の上のブルーシートに覆われた不開門(矢印).



写真-27 地震前の不開門(1989年撮影)



写真-28 崩壊を免れた五間櫓と崩壊した北十八間櫓と 石垣 (2016 年 8 月 11 日撮影).



写真-29 北十八間櫓台石垣崩背後地盤の上部に大きなV字のガリー浸食 (2016年8月11日撮影)





写真-30 熊本大神宮の崩壊(2016年7月20日撮影)

写真-31 熊本大神宮と北十八間櫓(2016年7月20日撮影)



写真-32 平井川沿いの長塀 100 mが倒壊. (2016 年 7 月 20 日撮影)



写真-33 平御櫓(2016年7月20日撮影).





写真-35 馬具櫓台石垣の崩壊 (2016年8月11日撮影)

写真-34 長塀と馬具櫓台石垣 (2016年8月11日撮影)



写真-36 基礎の崩壊により白壁部分にクラックが進展した馬具櫓. (2016年7月20日撮影)



写真-37 石碑の地震による回転. (2016 年 7 月 20 日撮影)



写真-38 唯一の水堀の備前堀東側の石垣の崩壊 (2016年8月11日撮影)



写真-39 未申櫓から空堀沿いの石垣の倒壊. (2016 年 8 月 11 日撮影)

写真-40未申櫓

(2016年8月11日撮影)



写真-41 飯田丸五層櫓台石垣の崩壊 (2016年7月20日撮影).

写真-42 飯田丸に 420 トン仮受構台の設置. (2016 年 8 月 11 日撮影)

(6) 平御櫓と長塀

竹の丸東端の平御櫓から西端の馬具櫓をつなぐ242 mの 現存する最長の城郭塀である.南側に位置するこの長塀 は薩摩藩に対する備えとして建造されている.100 mに わたり倒壊した.

長塀の接合部ははずれ,長塀部分が倒れている.接合 部に地震時に大きな荷重が作用したものと思われる

(写真-32). 熊本城南東角に位置する平御櫓は1966年に 復元され, 倒壊は免れた(写真-33).

(7)馬具櫓

花畑邸前から本丸の通じる下馬橋を渡る城主の登城口 であるので下馬となり、平時に武具を治める馬具櫓が右 手に見える.馬具櫓は1966年に復元され、老朽化のため に2008年に解体され、復元された馬具櫓は2014年9月に 一般公開された.長塀と馬具櫓台石垣は、櫓台の築城が 古くそれを塞ぐ形状で塀部分が構築された(写真-34,35).

写真-36は、基礎の崩壊により、白壁部分にクラックが 進展していることを示している.**写真-37**は、本震後、 特別史跡熊城の石碑が地震により回転していることが発 見された.

(8)備前堀の石垣

熊本城周辺は透水性の優れた火山灰が堆積した地域で あり、空堀が主体である.唯一の水堀の備前堀では東側 の石垣の崩壊が生じた(**写真-38**).

(9) 未申櫓

未申櫓は、戌亥櫓と同時期の2003年に木造建築で復元 された.敷地内、戌亥櫓と対になる位置にある櫓で、

「未」とは、南から西へ30度の方角.南南西の方向を守る「申」に位置する櫓である.未申櫓から空堀沿いの石垣の倒壊が倒壊した(**写真-39,40**).

(10) 飯田丸

熊本城の南面防衛にあたる際の要所で加藤清正の重臣, 飯田覚兵衛の管理の飯田丸は南西隅に建つ五階建ての櫓 である(**写真-41**).木造3層5階建で2004年に再建された. 北西側に空堀と南西側に水を有する備前堀を有する.地 震により,南側の2層と3層の直線的な破風を有する面の 石垣が崩壊し,石垣の角の算木積み部分で支えている.

2016年7月下旬に転倒防止のための緑色の420トンの仮 受構台の設置し,高さ10mの鉄骨で支え,石垣・櫓の倒 壊防ぐ工事を施工を開始した(**写真-42**).

6. 総括

- 天守・櫓の基盤は、阿蘇地域の火山灰を起源とする 堆積層で強度は持たない。
- 熊本城の石垣は加藤家時代から細川家時代と工法に は数々の変遷が有り、石垣崩壊形態にも影響してい ると思われる.
- 3) 加藤家時代の石垣は強度を持たない地盤を前提として、緩勾配の形状であり、弓型の美しい形状と上部に設置されている武者返しも城観光の目玉となっている。
- 4) 加藤家後期から細川家時代には算木づくりが発展し、 石垣の形状も急勾配となる.地震時安定性を考慮した場合、どちらが優位性を示すかは、今後の詳細な 調査を必要とする.
- 5) 石垣の算木づくりの櫓では,飯田丸五階櫓,戌亥櫓 に代表されるように隅石の算木積み部分を残し,石 垣の中間は崩壊を生じている.
- 6) RC造外観復元の大天守・小天守は瓦・鯱の崩壊が みられたが、現存木造の宇土櫓のみ瓦・鯱の崩壊が 生じていない、伝統的建物には振動を吸収する工夫 が存在するものと思われる。
- 7) 宇土櫓は開口部に鉄骨ブレースを設置することで、 耐力とねばり強さを向上する耐震補強がなされてい たため倒壊は免れ、続櫓は耐震補強がなされていな かったため、続櫓のみ倒壊した. 耐震補強の効果が 証明された.
- 8) 北十八間櫓台石垣崩背後地盤の上部に大きなV字の ガリー浸食がみられた.
- 加藤神社の石垣倒壊から発見された観音菩薩は、
 400年前の築城の祈願に仏像を彫って供養した石碑であるか、転用石であるかは不明である.
- 10) 天守・櫓の白壁部分に生じたクラックは度重なる余 震で進展しているた.また、石垣の孕み出しも進行 するもの思われるので、迅速な対応が望まれる.

7. おわりに

今回の調査に関しては、一般見学ルートに限定して 調査を実施した.今後は、規制区域内の写真等を活用し て、地震の被害に関して評価していきたい.

2016年熊本地震を経験して、すでに幾つかの書籍^{11,12}が出版されている.専門家以外でも理解しやすい表現となっているので是非、参考とされたい.

謝辞:熊本城ボランティアガイド藤岡美奈子さん,生 田繁利さんには,熊本城に関する豊富な知識をお伝えい ただきました.また,国土地院のUAVによる撮影写真は 規定に基づき活用させていただきました.記して御礼申 し上げます.

参考文献

1) 平成 28 年(2016 年)熊本地震:4 月 14 日の地震 (M6.5) http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/nwkumamoto160414/?LANG=ja

2) 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 : 4 月 16 日の地震 M7.3)

http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/nw-kumamoto160416/

 浅野陽一:熊本地震の地震発生場と地震活動,防災 科研平成28年(2016年)熊本地震」報告会~防災科学 技術研究所 最初の3ヶ月間の取り組み~(2016年 7月15日)

http://www.bosai.go.jp/event/2016/pdf/20150715_01.pdf

 (4) 富田紘一:熊本城 歴史と魅力,熊本城顕彰会, 169p.2008.

- 5) 名城をゆく1,熊本城,小学館, 192p.,2009.
- 小和田 泰経,三浦正幸:図説 城造りのすべて一決 定版(歴史群像シリーズ),学習研究社,160p.,2006.
- 7) 遠藤塩子:「石塔・石仏の城郭への転用について」 『城郭史研究』24, pp.122-132, 六一書房, 2004.
- 8) 加藤理文:熊本城を極める,サンライズ出版,64p., 2011.
- フォトグラフ熊本城,本丸御殿復元完成記念写真集, 熊本日日新聞社,ISBN: 978-4-87755-312-8 C0072, 2016.
- Ohsumi, T., Mukai,Y., Fujitani, H., Investigation of damage in and around Kathmandu Valley related to the 2015 Gorkha, Nepal Earthquake and beyond, *Geotechnical and Geological Engineering*, pp.1-23, DOI 10.1007/s10706-016-0023-9, http://link.springer.com/article/10.1007/s10706-016-0023-9, 2016.
- 佐藤比呂志: 巨大地震はなぜ連鎖するのか 活断層 と日本列島, NHK出版新書 491, 195p., 2016 年 7月
- 加藤理文:日本から城が消える「城郭再建」がか かえる大問題 (歴史新書)新刊,洋泉社, ISBN: 978-4-8003-1014-9, 283p.,2016年8月

INVESTIGATION FOR THE DAMAGE KUMAMOTO CASTLE STONE WALL RELATED TO THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Tsuneo OHSUMI

A major earthquake with a magnitude 6.5 (JMA) foreshock and a magnitude 7.3 (JMA) main shock occurred at 1:25 on April 14 and 21:26 on April 16, 2016, respectively, in the Kumamoto region. The reported damages to Kumamoto Castle included 23 important cultural properties, the 27 rebuilt structures and 523 stone wall deformations. Thirty percent of all of the stone walls were damaged. Aftershocks continued to increase the damage in the weeks following the main shock. The stone wall foundation used two different construction techniques from the Kato and Hosokawa ages. The damage patterns with respect to the shapes of the stones in the walls were investigated and compared. In addition, the damage patterns in the reinforced concrete reconstruction of the castle tower and existing historical wooden structures were compared.